

身体冷却による運動能力向上に関わる中枢性機序

鬼塚 純玲

広島大学大学院総合科学研究科

The Central Mechanisms Behind the Ergogenic Effects of Body Cooling

Sumire ONITSUKA

Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University

論文の要旨

第 I 章 序論

ヒトの体温は、熱産生と熱放散のバランスによってほぼ一定に調節されている。運動中に活動筋で産生された熱は、対流、伝導、放射および蒸発といった様々な手段で空気中へ放散される。しかし、暑熱環境下では伝導や対流などの熱放散が妨げられるため、体温が上昇しやすくなる。したがって、暑熱環境下における運動時には過度な体温上昇（高体温）が引き起こされ、末梢性疲労および中枢性疲労の発現により運動能力が低下することが示されている。このような高体温による運動能力の低下を防ぐためには、有効な暑さ対策を実践する必要がある。本章では、暑さ対策のうち比較的簡便で競技現場でも使用できる身体冷却に着目し、以下の内容に分類し総説した；1) 身体冷却と運動能力、2) 身体外部冷却、3) 身体内部冷却、4) 競技現場での応用。そして総説に基づき、身体冷却の中でも今後の競技現場への応用が期待されるアイススラリーの摂取に着目し、以下2つの目的を設定した。1つ目は、アイススラリーの摂取による運動能力向上の背景にあるメカニズムについて、脳温の上昇による中枢性疲労の抑制と

いう観点から明らかにすること、2つ目は運動中の継続的な摂取による相乗効果の有無を検討することでアイススラリーの適切な摂取方法を明らかにすることである。

第 II 章 温暖環境下におけるアイススラリーの摂取が前額部皮膚温に及ぼす影響

アイススラリーの摂取は脳に流れる頸動脈血の冷却、または顔の皮膚表面の冷却に伴う伝導性冷却により、脳を冷却する可能性があることが示唆されている。顔の皮膚表面の冷却については顔の皮膚温度を測定することで検証することが可能であるが、これまでは核心温に及ぼす影響に議論が集中しており、アイススラリーの摂取が実際に顔の皮膚表面を冷却するか否かはまだ明らかにされていない。そこで本章では、前額部皮膚温を指標として検討することを目的とした。8名の健康な成人男性が、温暖環境下（室温30℃、相対湿度80%）において7.5g/kgのアイススラリー飲料（-1℃）または冷たいスポーツ飲料（4℃）、中立温度のスポーツ飲料（37℃）を15分間で3回に分けて摂取した際の直腸温、前額部皮膚温、平均皮膚温（胸部、上腕部、大腿部）、心拍数、および

温熱感覚の変化を観察した。その結果、アイススラリーの摂取によって、これまで報告されている直腸温や温熱感覚の低下とともに、前額部皮膚温が有意に低下することが新たに明らかとなった。したがって、アイススラリーの摂取は顔の皮膚表面の冷却により、脳を冷却することが示唆された。

第Ⅲ章 常温環境下におけるアイススラリーの摂取がヒトの脳温に及ぼす影響 —磁気共鳴スペクトロスコピーを用いた検討—

本章では、第Ⅱ章でアイススラリーの摂取が顔の皮膚表面を冷却することが明らかとなったため、実際に脳温が低下するか否かを磁気共鳴スペクトロスコピーという手法を用いて非侵襲的に検討した。8名の健康な成人男性が、常温環境下（室温 23℃、相対湿度45%）において15分間のベースラインの後、約5分間で7.5g/kgのアイススラリー飲料または中立温度のスポーツ飲料を摂取した。その後30分間測定を継続し、第Ⅱ章の測定項目に加えて、脳温および熱快適性の変化を測定した。なお、実験機器の制限により、本章では前額部皮膚温および心拍数の測定は行わなかった。結果として、アイススラリーの摂取は先行研究や第Ⅱ章と同様に直腸温や温熱感覚を低下させるとともに、脳温も低下させることが明らかとなった。脳温にも核心温と同様に危機的限界レベルが存在することが示唆されているため、アイススラリーの摂取による脳のプレクーリングは、核心温とともに脳の危機的限界レベルへの到達を遅延することで、運動能力を向上させることが示唆された。また、脳温の過度な上昇は中枢性疲労を引き起こすため、脳温の低下は中枢性疲労の発現も遅延させる可能性が示された。

第Ⅳ章 暑熱環境下における運動前および運動中のアイススラリー摂取が認知機能および運動能力に及ぼす影響

本章では、第Ⅱ章および第Ⅲ章の結果より、アイススラリーの摂取が脳の冷却により中枢性疲労を抑制する可能性が示されたため、認知機能を指標として実際に中枢性疲労に及ぼす影響を検討することを目的とした。また本章では、もう1つの課題である摂取後の運動時における核心温上昇率の増大について、運動中の継続的な摂取によって克服することができ、それにより認知機能や運動能力がさらに向上すると考えて、運動前および運動中の摂取も条件に追加した。11名の健康な成人男性が、常温環境下（室温 24℃、相対湿度 50%）において30分間で5回に分けて7.5g/kgのアイススラリー飲料または中立温度のスポーツ飲料を摂取した後、暑熱環境下（室温 34℃、相対湿度 50%）で最大酸素摂取量の50%の運動強度で約60分間の自転車運動を行った。11名中4名では、その後80%に強度を上げ疲労困憊に至るまでの運動能力テストを実施した。運動中は10分毎に1.25g/kgのアイススラリー飲料または中立温度のスポーツ飲料を摂取した。認知機能は空間ストループ課題を飲料摂取前後の安静時に3回、運動中は飲料摂取直後に毎回実施した。本章では、第Ⅱ章および第Ⅲ章の測定項目に加え、脳温の指標として熱流補償法を用いた前額部深部温の測定を行った。結果として、運動前および運動中の摂取によって直腸温および前額部深部温が運動後半に有意に低下し、継続的な摂取によって運動前の効果が維持されることが明らかとなった。また、運動前だけの摂取で認知機能の向上が観察されたことから、中枢性疲労による認知機能の低下が見られる場合にはその低下を相殺することが示唆された。しかしながら、運動中の継続的な摂取が認知機能や運動能力をさらに向上するか否かは、可能性を示すことはできたものの、十分に明らかにすることはできなかった。

第V章 総合考察

中枢性疲労が抑制され、エルゴジェニック効果が増大する可能性は示された。

上記3つの実験結果から、以下の項目に分けて総合的に考察した：1) 脳温に及ぼす影響、2) 中枢性疲労の検討、3) 運動前および運動中の摂取、4) 競技現場への応用。第II章および第III章の結果より、安静時の脳温の低下は、顔面領域の静脈血の冷却により、脳に流れる血液が冷却されることが要因であると推察される。一方で、第IV章のような体温上昇が見られる運動時においては、顔の皮膚表面の冷却の程度は低くなる可能性があるが、冷えた静脈血が流入する量が増加することで、脳が冷却されると考えられる。

第IV章では、直腸温の上昇やそれに伴う脳温の上昇が中枢性疲労による認知機能の低下を引き起こすレベルではなかったため、アイススラリーの摂取が中枢性疲労に及ぼす影響について明確にすることはできなかった。しかしながら、運動前のみの摂取では認知機能が向上したことから、第IV章の実験条件では運動前のみの摂取による脳温の変動が高い認知機能の発揮に適していたと考えられ、運動中の継続的な摂取で認知機能が向上しなかったのは、適するレベルよりも脳温を低下させたことが要因であると考えられる。以上より、第IV章よりも直腸温や脳温の上昇が引き起こされるような環境条件や運動形態の場合には、運動前のみあるいは運動中の継続的なアイススラリーの摂取によって中枢性疲労が抑制される可能性がある。

運動前および運動中のアイススラリー摂取は運動能力の向上ももたらす可能性があり、競技現場での摂取方法として推奨されるかもしれない。しかしながら、運動中のアイススラリー摂取には不快感による運動能力低下の可能性といった課題もあるため、実際の使用に向けてはさらなる検討が必要である。

まとめると、運動前のアイススラリー摂取によるエルゴジェニック効果には、顔の冷却による脳温上昇の抑制とそれに伴う中枢性疲労の抑制が関与していることが明らかになった。また、運動中の継続的な摂取については、実験プロトコルの課題等により再検討する必要があるものの、同様に